

张 锐, 王以忠, 崔艳华, 等. 基于灰色系统理论用表面颜色预测果蔬品质[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(5): 265–268.

# 基于灰色系统理论用表面颜色预测果蔬品质

张 锐<sup>1</sup>, 王以忠<sup>1</sup>, 崔艳华<sup>1</sup>, 张 平<sup>2</sup>, 陈绍慧<sup>2</sup>, George Q. Huang<sup>3</sup>

(1. 天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222; 2. 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 天津 300384;

3. 香港大学工业与制造系统工程系, 香港 999077)

**摘要:** 果蔬采摘后的品质会发生变化, 为提高果蔬的商品价值, 以灰色系统理论为基础, 对果蔬品质的预测进行了研究。果蔬采用香蕉为研究对象, 以表面颜色变化表征其品质特性, 采用其图像作为输入数据, 通过数字图像处理技术提取与颜色相关最为密切的 H 值作为特征参数。给出了品质预测系统和图像处理的流程, 建立了灰色系统 GM(1,1) 模型, 进而实现对香蕉品质预测的目的。试验结果表明, 在 2 种预测情况下, 用 GM(1,1) 模型对 H 值预测的最大残差百分比分别为 3.245 3%、3.954 5%, 残差较低, 表明 GM(1,1) 模型可在香蕉等品质与颜色变化相关的果蔬贮藏、运输和销售过程中预测其品质变化。

**关键词:** 果蔬; 表面颜色; 灰色系统; 品质预测

**中图分类号:** S379.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2013)05–0265–04

果蔬在采摘后仍然进行着生理生化反应, 在贮藏、运输、销售的时间段内, 会消耗其体内的贮藏物质。同时, 采摘后的果蔬还会受到很多客观因素的影响, 如环境温度、空气湿度及其气体成分、机械损伤及病虫害、激素等, 导致其品质发生变化<sup>[1–3]</sup>。由于变质后的果蔬食用价值降低, 使其商品价值受到直接的影响, 因此如何对果蔬品质进行预测, 成为当前亟须解决的问题。

在对果蔬品质进行预测时, 需要确定预测的品质特性参

数。检测特性参数的方法主要包括有损和无损检测。无损检测又称为非破坏性检测, 即在不破坏样品的情况下对其进行品质评价的方法<sup>[4]</sup>, 主要的检测内容包括表面质量(表面光洁度、表面缺陷)、内部质量(糖度、酸度、维生素等)以及硬度、颜色、尺寸、面积等<sup>[5–6]</sup>。其中检测果蔬表面颜色是无损检测技术中的一种重要方法, 该方法实用性强, 并具有无损、快速、准确和实时性等特点<sup>[7–10]</sup>。

目前在果蔬品质预测的方法中, 在多个领域得到广泛应用的灰色系统<sup>[11–13]</sup>是常用的预测方法。相关研究已经对苹果<sup>[14]</sup>、胡萝卜<sup>[15]</sup>等果蔬实现了预测。李小昱等研究了苹果理化特性和机械特性之间的关系<sup>[14]</sup>, 姜松等以咀嚼性对胡萝卜进行了质地特性参数的分析预测<sup>[15]</sup>; 但灰色理论还未应用在用表面颜色预测果蔬品质的研究中。本研究针对目前的研究现状, 利用灰色系统理论, 建立了灰色系统 GM(1,1) 模型

收稿日期: 2013–01–31

基金项目: 国家星火计划(编号: 2011GA610008); 天津市科技支撑计划重点资助项目(编号: 08ZCKFNC00700); 天津市高等学校科技发展基金(编号: 20110706)。

作者简介: 张 锐(1979—), 男, 辽宁营口人, 硕士, 讲师, 主要从事测控技术和光谱技术方面的研究。E-mail: zhangrui@tust.edu.cn。

## 3 结论

通过对不同型号的大孔吸附树脂进行静态吸附和静态解吸试验, 从 5 种大孔吸附树脂中筛选出 3 种较佳树脂(DI01、AB–8、X–5)进行了动力学特性研究, 结果表明: X–5 型大孔吸附树脂能够很好地分离富集草珊瑚黄酮类化合物。

通过对 X–5 型大孔吸附树脂进行草珊瑚黄酮动态吸附与解吸研究, 得出 X–5 型大孔吸附树脂分离纯化草珊瑚黄酮的最佳条件为上样液浓度为 3 mg/mL、流速为 2 BV/h、pH 值为 4; 用 70% 乙醇作为洗脱液、洗脱速率为 2 mL/min、洗脱液用量为 2.5 BV。

经 X–5 型树脂纯化后的草珊瑚黄酮纯度为 70.40%, 是纯化前的 3.3 倍, 对综合开发利用黔产草珊瑚黄酮具有一定的应用价值。

## 参考文献:

[1] 李松林, 崔 熙, 乔传卓, 等. 中国草珊瑚属植物研究概况及探讨[J]. 药学情报通讯, 1992(3): 49–51.

[2] 孙建琴, 孙晓红, 王惠群, 等. 草珊瑚的毒性研究[J]. 贵阳医学院学报, 1998, 23(1): 43–44.

[3] 张 睿, 徐雅琴, 时 阳. 黄酮类化合物提取工艺研究[J]. 食品与机械, 2003(1): 21–22.

[4] 郁建生, 李英伦. 草珊瑚总黄酮提取工艺比较研究[J]. 江苏农业科学, 2006(5): 136–138.

[5] 张 雪, 丁长河. 紫外分光光度法检测山楂总黄酮方法的建立[J]. 食品工业科技, 2007, 28(7): 200–202.

[6] 郁建生, 郁建平. 草珊瑚总黄酮提取工艺及其含量动态变化[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(4): 307–309.

[7] 于智峰, 王 敏, 张家峰. 大孔吸附树脂精制苦荞总黄酮工艺条件的优化研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4): 253–257.

[8] 洪雪娥, 高荫楠, 罗丽萍, 等. 大孔吸附树脂对薯蓣黄酮吸附分离特性研究[J]. 食品科学, 2006, 27(10): 423–427.

[9] 徐国良, 肖兵华, 邹胡斌, 等. 大孔吸附树脂分离肿节风中总黄酮的研究[J]. 中草药, 2006, 37(7): 1014–1017.

[10] 张黎明, 李春莲. 大孔吸附树脂分离纯化山楂叶总黄酮的研究[J]. 林产化学与工业, 2006, 26(1): 87–90.

来预测香蕉的品质变化。该方法操作简单,可在香蕉等表面颜色与品质相关果蔬的贮藏、运输和销售过程中预测其品质变化。

## 1 理论基础

### 1.1 灰色系统

在控制论中,人们一般把问题或领域称为系统,用颜色的深浅来形容系统信息的多少,灰色系统是表示部分信息已知、部分信息未知的系统<sup>[11]</sup>。在试验数据处理过程中,灰色系统与传统的统计理论(如回归分析、方差分析、主成分分析等)相比具有很大的优势,其研究对象是“部分信息已知、部分信息未知”的“小样本、贫信息”的不确定性系统。灰色系统的应用非常广泛,已成功应用于工程控制、经济管理、未来学、社会系统、生态系统、环境系统和粮食科学等领域中<sup>[16-19]</sup>。

### 1.2 GM(1,1)模型的建立

灰色模型(grey model, GM)预测模型是灰色理论中的重要组成部分,也是主要的预测方法之一。基于灰色 GM(1,1)模型所得到的预测值比常规方法所得预测值的精度要高,且对样本数据要求低、时效性好、计算简单方便。GM(1,1)模型建立的过程如下:

设原始时间序列  $x^{(0)}$  有  $n$  个观察值,  $x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$ ;

对原始时间数列进行一次累加以生成新的数列  $x^{(1)}$ , 即  $x^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(1) + x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(1) + \dots + x^{(0)}(n)\}$

其中:  $x^{(1)}(k) = x^{(0)}(1), k=1; x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i) = x^{(1)}(k-1) + x^{(0)}(k), k=2, 3, \dots, n$ ;

GM(1,1)模型白化形式的微分方程为:

$$\frac{dx}{dt} + ax = u \quad (1)$$

引入下述符号:

$$X = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] \\ \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)] \end{bmatrix}$$

$$Y_N = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad E = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}$$

于是便有  $Y_N = aX + uE = [X|E] \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}$ ,

设  $\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}$  为待估参数向量, 记  $B = [X|E]$ , 则  $Y_N = B\hat{a}$ , 利用最小二乘法求解系数:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} \quad (2)$$

将  $a, u$  值代入微分方程, 求解 GM(1,1) 方程, 得到其对应的时间响应函数:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x^{(1)}(1) - \frac{u}{a}]e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (3)$$

然后求导还原:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = a[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}]e^{-ak} \quad (4)$$

式(3)、(4)便为 GM(1,1)模型的时间响应式, 即灰色系统预测模型的基本算式。

## 2 果蔬品质的预测系统

本研究中, 果蔬品质预测系统中以香蕉为例, 利用其表面颜色的变化作为研究对象。表面颜色用 HSI 颜色模型的 H 值表征, HIS 是由色度(hue)、饱和度(saturation)、明度(intensity)3个基本特征组成的。其中包含彩色信息的2个参数是色度(H值)、饱和度(S值), 色度是以与颜色关系最为密切的 H 值作为特征参数, 用弧度表示。在系统中通过香蕉的图像特征来表现它们在存储过程中的品质变化, 拍摄香蕉在不同贮藏阶段的相片, 通过数字图像处理技术提取 H 值作为特征参数。由于香蕉是一种复杂的介质, 在采摘后仍进行呼吸作用和其他代谢过程, 其品质特性(表面颜色)指标的变化属于时间序列, 可以用 GM(1,1)模型来预测其变化规律<sup>[15]</sup>。

### 2.1 果蔬品质预测的整体设计

基于灰色系统的果蔬品质预测系统的整体设计见图1。

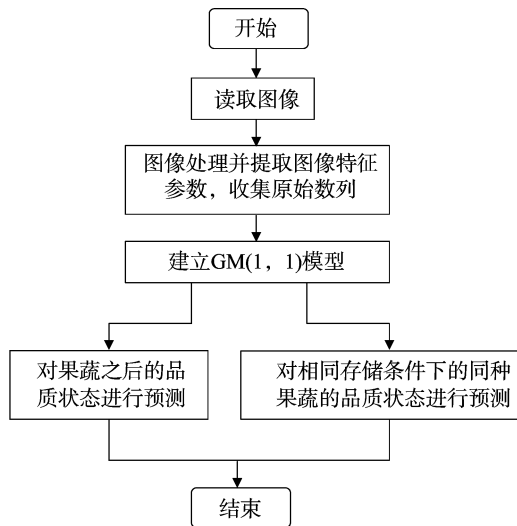


图1 果蔬品质预测系统的整体流程

首先对果蔬产品采集数字图像, 经过处理之后提取图像特征以表征果蔬的品质特性。第1种情况, 取果蔬在一段时间的品质状态以建立预测模型, 可以预测其在以后的发展状态; 第2种情况, 取果蔬从最好状态到最坏状态的所有数据, 建立 GM(1,1)模型后, 可以对相同存储条件下的同种果蔬的品质状态进行预测。

### 2.2 研究对象与数据来源

本研究选取状态相同的香蕉并存储在同等的环境下。以10只香蕉为研究对象, 分别在每天20:00于相同条件下对每只香蕉拍摄图片, 直到香蕉表面颜色不再适合销售为止。对香蕉图像的处理过程见图2。

在读取图像时, 图像传感器捕捉到像素的颜色不但和物体有关, 而且和照射光源的颜色温度有关, 在不同颜色温度下不同颜色偏离正常位置, 会造成图像的偏色。为了消除这些影响, 需要对图像进行白平衡处理, 处理前、后的结果分别见

图3-a、图3-b。

为了得到存储过程中的颜色变化过程而避免背景的影响,对图像进行阈值分割<sup>[20]</sup>,将前景和背景进行分离从而获得更准确的前景数据。处理过程如下:首先将 RGB 图像转换为 HIS 图像,进行二值化处理,获得前景为 1、背景为 0 的二值图像;然后用二值图像与原图像相乘,即可将目标图像从背景中分离出来。背景分离前、后的图像分别见图 3-c、图 3-d,可以看出分离后的图像背景呈黑色,不影响识别效果。处理后的图像既保证了完整的前景信息又减小了图像大小。

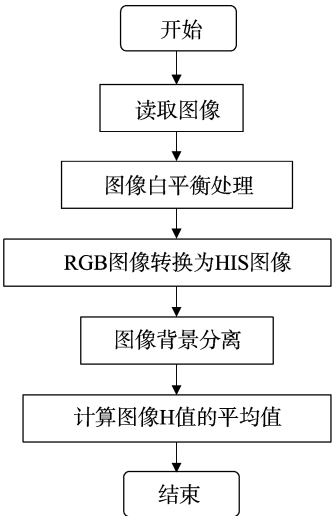


图2 收集原始数据的过程(图像处理过程)

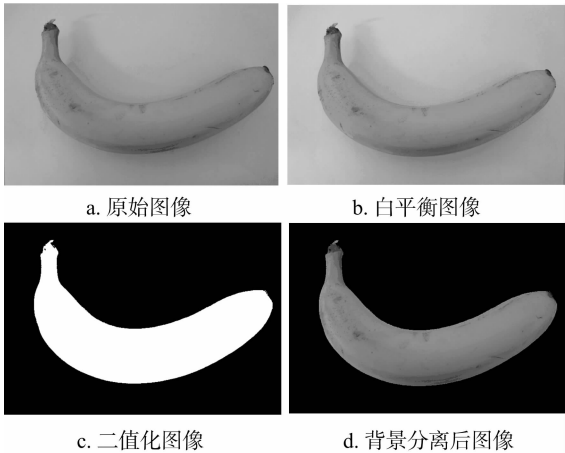


图3 香蕉图像处理过程

经过白平衡和背景分离处理后,计算每张香蕉图片的 H 值,并求取相同状态香蕉 H 值的平均值,所得数据见表 1。

2.3 灰色系统建模

在本系统中,香蕉的表面颜色 H 值是预测的对象。将表 1 中的数据作为初始时间序列,根据上述 GM(1,1)模型的建立过程建立香蕉表面颜色 H 值特性变化的模型。将原始数列和累加生成数列代入 B 和 Y<sub>N</sub> 的表达式,然后代入  $\hat{a}$  的计算公式,即得:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.028\ 3 \\ 0.948\ 7 \end{bmatrix}$$

最后得到 GM(1,1)模型。

表 1 香蕉存储过程中 H 平均值的变化

存储时间(d)	图像 H 值(rad)
1	0.897 3
2	0.886 5
3	0.874 7
4	0.869 4
5	0.862 4
6	0.840 9
7	0.802 3
8	0.761 9
9	0.712 5

预测函数为:

$$\hat{H}^1(t+1) = -32.645\ 6e^{-0.028\ 3t} + 33.542\ 9 \quad (5)$$

还原函数为:

$$\hat{H}^0(t+1) = 0.923\ 4e^{-0.028\ 3t} \quad (6)$$

式中: $\hat{H}^1(t+1)$ 、 $\hat{H}^0(t+1)$ 分别是预测、还原的香蕉表面颜色 H 值;t 为时间(d)。

3 结果与分析

第 1 种情况,依据香蕉在储存 9 d 内的表面颜色建立预测模型函数(5)、(6),可以预测香蕉表面颜色的变化趋势。在试验 10 d 时,香蕉已经开始腐烂,因此预测存储 10 d 后的变化已无意义,因此只选择未来 1 d(第 10 天)作为预测时间。结果见表 2、图 4,可以看出香蕉在贮藏 10 d 时的预测值与原始值的残差百分比为 3.245 3%。

表 2 第 1 种情况的试验结果

存储时间(d)	原始值	预测值	残差百分比(%)
10	0.693 3	0.715 8	3.245 3

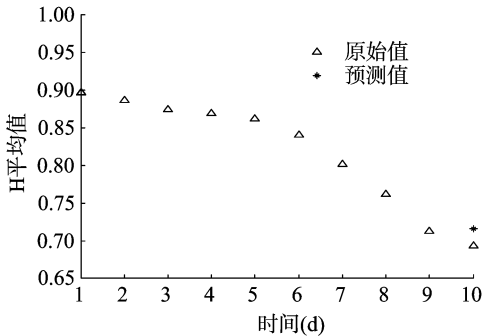


图4 香蕉储存 10 d 的原始与预测H值的曲线

在第 2 种情况下仍然利用函数(5)、(6),针对相同存储条件下的同一品种的香蕉图像 H 值进行存储 5 d 的预测,结果见表 3、图 5。可看出,试验结果具有较小的误差,预测值与原始值的最大残差百分比为 3.954 5%。因此在同等条件下,存储的同一品种香蕉的变化趋势具有相似性。当用一组样品建立果蔬品质变化的模型后,可将其用于其余同种果蔬品质的预测,而不用检测所有样本。因此只需要测量贮藏果蔬的初始 H 值或某一时间点的 H 值,即可预测其后的 H 值变化,

表 3 第 2 种情况的试验结果

存储天数 (d)	原始值	预测值	残差 (%)
1	0.889 3	0.899 2	1.113 2
2	0.873 7	0.874 1	0.045 8
3	0.863 2	0.849 8	1.552 4
4	0.860 0	0.826 0	3.954 5
5	0.832 1	0.803 0	3.497 2

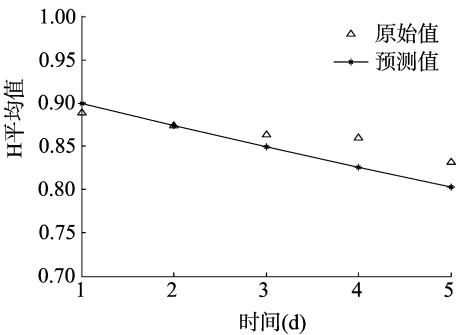


图5 香蕉在储存 5 d 的原始与预测H值的曲线

并可以此来反映贮藏期间果蔬品质的变化。

通过预测香蕉表面颜色的变化,能够保证在合理的时间限制内完成对果蔬产品的相应处理,以避免不必要的浪费、减少损失。如果指定一个 H 值作为香蕉品质的临界值,还可以根据预测函数预测香蕉的货架期。

4 结论

本研究以香蕉为试验对象,采用灰色系统理论,利用图像处理技术获取香蕉表面颜色 H 值,建立了 GM(1,1) 预测模型,设计了预测系统和图像处理流程。本研究提出的预测系统的主要优点有以下几方面:(1)残差较低。在 2 种情况下,原始值与预测值的最大残差百分比分别为 3.245 3%、3.954 5%。(2)处理过程简单。利用表面颜色的变化作为品质特性,以图像 H 值为特征参数,获取数据以及数据处理过程简单,而且不损伤果蔬。(3)所需数据少。由于自然条件下香蕉的存储时间较短,可使用的数据较少,本研究则以较少的数据建立了精确的评价预测模型。除了可预测香蕉品质外,GM(1,1)预测模型还可以应用到其他表面颜色变化明显的果蔬产品中,如苹果、冬枣等。该预测系统的应用可为果蔬物流系统中果蔬的保鲜措施提供依据,对于发展果蔬保鲜物流、提升果蔬保鲜水平、大幅度减少不必要的经济损失有着重要的意义。

参考文献:

[1]赵晨霞. 果蔬产品贮藏保鲜技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007:38-42.

[2]邓云,吴颖,李云飞. 葡萄在贮藏和货架期间品质的预测模型[J]. 农业机械学报,2006,37(8):93-97.

[3]Fonseca S C, Oliveira F A R, Brecht J K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 52(2): 99-119.

[4]潘立刚,张缙,陆安祥,等. 农产品质量无损检测技术研究进展与应用[J]. 农业工程学报,2008,24(增刊2):325-330.

[5]谢丽娟,应义斌,于海燕,等. 近红外光谱分析技术在蔬菜品质无损检测中的应用研究进展[J]. 光谱学与光谱分析,2007,27(6):1131-1135.

[6]宋文龙,姜永涛. 基于水果介电特性的无损成熟度检测仪的设计[J]. 农业工程学报,2008,24(增刊2):142-148.

[7]冯斌,汪懋华. 基于颜色分形的水果计算机视觉分级技术[J]. 农业工程学报,2002,18(2):141-144.

[8]王向阳. 延长黄熟香蕉货架期的研究[J]. 果树学报,2004,21(5):429-433.

[9]及华,张海新,关军锋,等. 温度和包装对冬枣果实贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技,2005,26(8):153-156.

[10]韩祥波,刘战丽. 计算机图像处理技术在农产品检测分级中的应用[J]. 安徽农业科学,2007,35(34):11292-11293.

[11]邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1990:5-8.

[12]Deng J L. Control problems of grey systems[J]. Systems & Control Letters, 1982, 1(5): 288-294.

[13]邓聚龙. 灰色控制系统[J]. 华中工学院学报, 1982, 10(3): 9-18.

[14]李小昱,王为. 基于灰色系统理论用机械特性指标预测苹果贮藏品质特性[J]. 农业工程学报,2005,21(2):1-6.

[15]姜松,冯峰,赵杰文. 应用灰色系统理论研究胡萝卜货架期的品质变化[J]. 食品科学,2007,28(11):561-564.

[16]Kayacan E, Ulutas B, Kaynak O. Grey system theory - based models in time series prediction [J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(2): 1784-1789.

[17]张正益. 基于灰色系统理论的企业市场风险传导测评模型[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(23): 179-182.

[18]徐卫国,吴刚. 基于灰色系统理论构建军队院校教学质量评估模型[J]. 数学的实践与认识, 2010, 40(1): 53-61.

[19]王治祯,柏景方. 灰色系统及模糊数学在环境保护中的应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2007:2-3.

[20]宋淑娜,庄凤庭,高尚. 基于背景检测的图像分割方法[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(20): 4671-4673.